



(19) RU (11) 2077036 (13) C1

(51) 6 G01M1/10

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Статус: по данным на 26.12.2007 - прекратил действие

(21) Заявка: 5026326/28

(22) Дата подачи заявки: 1991.12.29

(45) Опубликовано: 1997.04.10

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: Авторское свидетельство СССР N  
1155568, кл. G 01 M 1/10, 1985. Авторское  
свидетельство СССР N 139858, кл. G 01 M 1/10,  
1964. Авторское свидетельство СССР N  
737800, кл. G 01 M 1/10, 1980.

(71) Заявитель(и): Копейкин Анатолий  
Иванович; Малафеев Сергей  
Иванович

(72) Автор(ы): Копейкин Анатолий  
Иванович; Малафеев Сергей  
Иванович

(73) Патентообладатель(и): Копейкин  
Анатолий Иванович; Малафеев  
Сергей Иванович

**(54) РЕЗОНАНСНЫЙ СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ ИЗДЕЛИЙ  
ТИПА ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ**

Использование: машиностроение. Сущность изобретения: способ измерения моментов инерции типа вращения заключается в том, что в качестве генератора механических колебаний используют электромеханическую систему, включающую в себя электродвигатель, регулируют частоту колебаний электромеханической системы без изделия при фиксированной жесткости электродвигателя до резонанса и фиксируют частоту собственных незатухающих колебаний, затем при фиксированной частоте электромеханической системы регулируют жесткость электродвигателя с закрепленным изделием до наступления резонанса, измеряют величину жесткости, соответствующую резонансному режиму, и вычисляют момент инерции по формуле. 1 з.п. ф-лы. 1 ил.

**ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ**

Изобретение относится к измерительной технике и предназначено для определения моментов инерции различных изделий типа тел вращения, в частности вращающихся элементов электрических машин.

Известен способ измерения моментов инерции изделий типа тел вращения, при котором с помощью специального приспособления соединяют испытуемое изделие с упругим элементом в виде цилиндрической пружины с устройством взвода, закручивают упругий элемент, фиксируют, освобождают с помощью спускового устройства подвижную часть и измеряют период затухающих крутильных колебаний, заменяют испытуемое изделие эталонным телом, повторяют измерение периода затухающих крутильных колебаний и вычисляют момент инерции изделия по формуле:

$$J = \left( \frac{T_0}{T_э} \right)^2 \cdot (J_э + J_0) - J_0,$$

$T_0$  период затухающих крутильных колебаний механической системы с испытуемым изделием;

$T_э$  период затухающих крутильных колебаний механической системы с эталонным телом;  $J_э$  момент инерции эталонного тела;

$J_3$  момент инерции упругого элемента и связанных с ним крепежных элементов [1]

Недостатком этого способа является низкая точность, обусловленная нестабильностью механических характеристик упругого элемента из-за гистерезиса, изменений температуры окружающей среды, усилия при закручивании, трения в опорах и других факторов, а также высокой погрешностью измерения периода затухающих колебаний.

Известен также способ измерения моментов инерции изделий типа тел вращения, при котором возбуждают незатухающие колебания с помощью генератора механических колебаний в виде реверсивного электродвигателя, выходной вал которого кинематически связан с испытуемым изделием и датчиком обратной связи, выход которого через корректирующий фильтр соединен с входом усилителя мощности, питающего двигатель, измеряют периоды колебаний выходного вала без испытуемого изделия и при закрепленном испытуемом изделии и вычисляют момент изделия по формуле.

$$J = \frac{K}{4\pi^2} \left( T_1^2 - T^2 \right),$$

где  $T_1$  период колебаний при закрепленном испытуемом изделии;

$T$  период колебаний в системе без испытуемого изделия;

$K$  коэффициент передачи цепи вал-двигатель [2]

Недостатком такого способа измерения моментов инерции изделий типа тел вращения является низкая точность. Причинами низкой точности служат, во первых, зависимость периода колебаний генератора не только от момента инерции колеблющейся части, но и от параметра затухания, обусловленного диссипативными характеристиками системы, и, во-вторых, зависимостью коэффициента передачи цепи вал-двигатель  $K$  от частоты.

Таким образом, недостаток известных способов измерения моментов инерции изделий типа тел вращения низкая точность.

Из известных технических решений наиболее близким по достигаемому результату к предлагаемому является устройство для определения моментов инерции изделий, согласно которому с помощью генератора механических колебаний возбуждают механические колебания выходного элемента без изделия, а затем с изделием [3]

Недостатком известного способа измерения моментов инерции изделия типа тел вращения является низкая точность. Это объясняется тем, что, во-первых, коэффициент передачи  $K$  цепи вал-двигатель зависит от частоты автоколебаний и параметров системы и не остается постоянным при изменении момента инерции колеблющейся массы, и, во-вторых, частота автоколебаний зависит от диссипативных характеристик системы, которые при известном способе не контролируются.

Таким образом, недостатком известного способа измерения момента инерции изделий типа тел для вращения является низкая точность.

Цель изобретения повышение точности измерения моментов инерции изделий типа тел вращения.

Поставленная цель достигается тем, что в известном способе измерения моментов инерции изделий типа тел вращения, при котором с помощью генератора механических колебаний возбуждают незатухающие колебания его выходного элемента и измеряют частоту этих колебаний, закрепляют на выходном элементе генератора испытуемое изделие, возбуждают незатухающие колебания выходного элемента с закрепленным изделием и измеряют частоту этих колебаний, в качестве генератора механических колебаний используют электромеханическую систему, включающую в себя электродвигатель, регулируют частоту колебаний электромеханической системы без изделия при фиксированной жесткости электродвигателя до резонанса и фиксируют частоту собственных незатухающих колебаний, затем при фиксированной частоте электромеханической системы регулируют жесткость электродвигателя с закрепленным изделием до наступления резонанса, измеряют величину жесткости, соответствующую резонансному режиму, и вычисляют момент инерции по формуле

$$J = J_0(\beta/\beta_0 - 1),$$

где  $J_0$  момент инерции колеблющейся части электромеханической системы;

$\beta_0$  и  $\beta$  жесткости электродвигателя, соответствующие резонансу без изделий и с закрепленным изделием.

На чертеже приведена функциональная схема установки для проведения измерений моментов инерции изделий типа тел вращения.

Установка содержит регулируемый источник переменного тока 1, бесконтактную электрическую машину 2 с активным ротором 4 (синхронный двигатель с постоянными магнитами) с системой фаз на статоре 3 и выходным элементом 5, частотомер 6, испытуемое изделие 7, амперметр 8, испытуемое изделие 7, амперметр 8, регулируемый источник постоянного тока 9 и блок 10 определения резонанса.

В установке первая обмотка статора бесконтактного электродвигателя 2 подключена к источнику переменного тока 1, а другая обмотка через амперметр 8 подключена к регулируемому источнику постоянного тока 9 на выходном элементе 5 бесконтактного электродвигателя 2, служащего генератором механических колебаний, закрепляется испытуемое изделие 7, к выходу генератора переменного тока 1 подключен частотомер 6, выходной элемент 5 генератора механических колебаний соединен с блоком 10 определения резонанса.

Управление движения генератора механических колебаний имеет вид:

$$J\ddot{\varphi} + \gamma\dot{\varphi} + \beta\varphi = F\cos\omega t, \quad (1)$$

где  $J$  момент инерции,

$\gamma$  параметр, характеризующий демпфирование,

$\beta$  жесткость,

$F$  амплитуда возмущающей силы,

$\omega$  частота.

Частоты в собственных незатухающих колебаний системы, описываемой уравнением (1), определяется выражением

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{\beta}{J}} \quad (2)$$

Из уравнения (2) следует, что частота собственных незатухающих колебаний  $\omega_0$  не зависит от

коэффициента демпфирования  $\gamma$ , характеризующего диссипативные силы в системе. Так как количественная оценка коэффициента  $\gamma$  представляет наибольшие затруднения из-за его неустойчивости и зависимости от множества неконтролируемых факторов, таких как температура окружающей среды, частота соприкасающихся поверхностей в механической передаче и др. то выполнение измерений моментов инерции на частоте собственных незатухающих колебаний  $\omega_0$  системы, не зависящей от  $\gamma$ , позволяет повысить точность определения момента инерции.

Таким образом, если выполнить измерения параметров колебательной системы при одной частоте дважды: с испытуемым изделием и без него, что возможно при поддержании постоянным отношения,

$$\frac{\beta}{J} = \text{const},$$

то вследствие идентичности условий функционирования и снижения влияния диссипативных сил повышается точность измерения моментов инерции изделий типа тел вращения.

Для определения частоты собственных незатухающих колебаний системы используется блок 10 определения резонанса. При этом могут быть использованы следующие собственные резонансных колебаний;

фазовый сдвиг между выходным сигналом колебательной системы и возмущающей силой при  $\omega = \omega_0$  равен  $\pi/2$ ,

амплитуда скорости колебаний при  $\omega = \omega_0$  достигает максимума.

Изложенный подход к определению моментов инерции изделий типа тел вращения реализуется следующим образом.

В первом эксперименте выходной элемент генератора механических колебаний остается свободным. Устанавливается и фиксируется величина жесткости  $\beta_0$  электродвигателя колебательной системы.

Возбуждаются незатухающие колебания генератора и регулируется их частота до тех пор, пока в системе не наступит резонанс. Частоты собственных незатухающих колебаний системы, описываемой уравнением (1), определяется формулой

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{\beta_0}{J_0}}, \quad (3)$$

где  $J$  момент инерции колеблющихся собственных масс генератора механических колебаний.

Частота  $\omega_0$  системы фиксируется.

Далее на выходном элементе генератора механических колебаний закрепляется испытуемое с моментом инерции  $J$ . Возбуждаются колебания выходного элемента генератора на частоте  $\omega_0$ . При фиксированной частоте  $\omega_0$  изменяют жесткость электродвигателя до величины  $\beta$  с целью получения резонансного режима колебаний при прежней фиксированной частоте

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{\beta}{J_0 + J}} \quad (4)$$

Величина жесткости  $\beta$  измеряется.

Приравняв правые части уравнений (3) и (4), получим выражение

$$\sqrt{\frac{\beta_0}{J_0}} = \sqrt{\frac{\beta}{J_0 + J}},$$

выразив из которого  $J$ , будет иметь

$$J = J_0 \left( \frac{\beta_1}{\beta_0} - 1 \right) \quad (5)$$

В формулу (5) для определения момента инерции изделия входят три параметра:  $J_0$  момент инерции

колеблющихся масс генератора механических колебаний,  $\beta_0$  жесткость электродвигателя,

устанавливаемая перед началом измерений.  $\beta$  величина жесткости электродвигателя, полученная в результате измерений при резонансе. Так как результаты измерений, выполненных при  $\omega = \omega_0$ , инвариантны относительно параметра затухания, то, следовательно, предлагаемый способ обеспечивает повышение точности измерений моментов инерции изделий типа тел вращения.

Возбуждение незатухающих механических колебаний осуществляется следующим образом. К первой обмотке статора электродвигателя 2 с активным ротором 4 подключен источник переменного тока 1, а к второй обмотке через амперметр 8

регулируемый источник постоянного тока 9. Если переменный ток в первой обмотке двигателя 2 равен 0, а по второй обмотке протекает постоянный ток  $I$  то, в результате взаимодействия второй обмотки с током  $I$  и магнитного поля  $\Phi_0$ , создаваемого постоянными магнитами на роторе 4 двигателя

2, ротор 4 поворачивается и занимает начальное положение, соответствующее максимуму электромагнитной энергии системы. При повороте ротора 4 относительно этого начального положения на угол  $\alpha$  на него будет действовать момент.

$$M_{\text{в}} = K_1 I \Phi_0 \sin \alpha. \quad (6)$$

где  $K_1$  коэффициент пропорциональности.

Так как момент (6) стремится вернуть ротор 4 в начальное положение, то, следовательно, вторая обмотка двигателя 2, подключенная к источнику постоянного тока 9, выполняет роль электрической пружины, жесткость которой, как следует из уравнения (6), пропорциональна постоянному току  $I$ .

Переменный ток в первой обмотке статора двигателя 3 создает переменный магнитный поток, под действием которого ротор 4 совершает колебательное движение относительно начального положения. Параметры колебаний зависят от момента инерции колеблющейся массы, жесткости электрической пружины, параметров питающего напряжения первичной обмотки двигателя и диссипативных сил, действующих в системе. Для проведения измерений наилучшим режимом работы такой системы является резонансный. В этом режиме собственная частота незатухающих колебаний

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{\beta}{J}}$$

не зависит от неконтролируемых диссипативных сил и может быть определена с помощью блока 10 определения резонанса по фазовому сдвигу между выходным сигналом колебательной системы и возмущающей силой, максимуму амплитуды скорости колебаний или другим известным способом.

Важным преимуществом проведения измерений в резонансном режиме является высокая чувствительность: малым изменением момента инерции испытуемого изделия соответствуют большие изменения измеряемого параметра (фазового сдвига или амплитудного значения скорости колебаний), уменьшается чувствительность к изменениям диссипативных сил в системе.

Частота вынужденных колебаний регулируется с помощью источника 1 переменного тока и контролируется с помощью частотомера 6. Частота  $\omega_0$  собственных незатухающих колебаний

системы регулируется изменением жесткости электрической пружины путем изменения постоянного тока  $I$  во второй обмотке статора 3 с помощью источника 9 постоянного тока. Жесткость электрической пружины, как следует из уравнения (6), пропорциональна величине постоянного тока и, следовательно, может контролироваться с помощью амперметра 8.

Таким образом, использование в известном способе измерения моментов инерции изделий типа тел вращения операций регулирования частоты колебаний генератора без изделия при фиксированной жесткости до резонанса и фиксации частоты собственных незатухающих колебаний, затем при фиксированной частоте генератора регулирования жесткости в электродвигателе с закрепленным изделием до наступления резонанса, измерения величины жесткости, соответствующей резонансному режиму, и вычисления момента инерции изделия по формуле

$$J = J_0 \left( \frac{\beta}{\beta_0} - 1 \right),$$

где  $J_0$  момент инерции колеблющейся части генератора механических колебаний;

$\beta_0$  и  $\beta$  жесткости электродвигателя, соответствующие резонансу без изделия и с закрепленным изделием, позволяют повысить точность измерений.

Другими важными достоинствами предлагаемого резонансного способа измерения моментов изделий типа тел вращения являются:

высокая чувствительность реализации;

простота технической реализации.

Опытная проверка предлагаемого способа для определения моментов инерции роторов электрических машин показала, что погрешность измерений не превышает 1%

Использование предлагаемого резонансного способа измерения моментов инерции изделий типа тел вращения позволит повысить эффективность научно-исследовательских и приемочных испытаний деталей машин, механизмов и других конструкций.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Резонансный способ измерения моментов инерции изделий типа тел вращения, при котором с помощью генератора механических колебаний возбуждают незатухающие колебания его выходного элемента и измеряют частоту этих колебаний, закрепляют на выходном элементе генератора испытуемое изделие, возбуждают незатухающие колебания выходного элемента с закрепленным изделием и измеряют частоту этих колебаний, отличающийся тем, что в качестве генератора механических колебаний используют электромеханическую систему, включающую в себя электродвигатель, регулируют частоту колебаний электромеханической системы без изделия при фиксированной жесткости электродвигателя до резонанса и фиксируют частоту собственных незатухающих колебаний, затем при фиксированной частоте электромеханической системы регулируют жесткость электродвигателя с закрепленным изделием до наступления резонанса, измеряют величину жесткости, соответствующую резонансному режиму, и вычисляют момент инерции по формуле

$$J = J_0 (\beta / \beta_0 - 1),$$

где  $J_0$  момент инерции колеблющейся части электромеханической системы;

$\beta_0$  и  $\beta$  жесткости электродвигателя, соответствующие резонансу без изделия и с закрепленным изделием.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что незатухающие механические колебания возбуждают с помощью электродвигателя с активным ротором путем подключения одной из обмоток статора к регулируемому источнику переменного тока, а другой к регулируемому источнику постоянного тока, и регулируют частоту механических колебаний изменением частоты переменного тока в первой обмотке, а жесткость изменением величины постоянного тока во второй обмотке.

---

#### ИЗВЕЩЕНИЯ К ПАТЕНТУ НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

---

Код изменения правового статуса

ММ4А - Досрочное прекращение действия патентов РФ из-за неуплаты в установленный срок пошлин за поддержание патента в силе

Дата публикации бюллетеня

2001.11.27

